

# Medizinische Anwendungsfelder des Lasers in Gegenwart und Zukunft

Müller, Gerhard J.

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 1989 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.199-216



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

## **Medizinische Anwendungsfelder des Lasers in Gegenwart und Zukunft**

Von **Gerhard J. Müller\***

In den letzten Jahren hat der Laser in einer Reihe von Fachgebieten seinen festen Platz erworben, z.B. in der Ophthalmologie, Dermatologie, Neurochirurgie, HNO, Pulmologie, Gastroenterologie, Allgemeine Chirurgie, Urologie, Gynäkologie und Orthopädie. Entsprechend den gewünschten Problemlösungen müssen die Qualitäten der jeweils unterschiedlichen Lasersysteme herangezogen werden.

Der Argon Laser wird wegen seiner hohen Selektivität für körpereigene Chromophore in der Ophthalmologie und Dermatologie benutzt.

Der CO<sub>2</sub> Laser ist wegen seiner hohen Wasserabsorption und damit geringen Eindringtiefe in das Gewebe ein sehr exaktes Schneidinstrument. Er findet überall dort Verwendung, wo mikrochirurgisches Arbeiten bzw. flächenhaftes Abtragen gefordert ist. Sein Nachteil ist die zur Zeit fehlende Transmission der Strahlung über Fasern.

Der Nd:YAG Laser ist ein typischer Volumenkoagulator und wird überall dort eingesetzt, wo gefäßreiche Strukturen wie Fehlbildungen und Tumore vorliegen. Seine Übertragbarkeit durch Glasfasern gestattet eine universelle Anwendung. Über flexible oder starre Endoskope kann er zur Koagulation von Blutungen, bei höherer Leistung zur Rekanalisation von Tumorstenosen benutzt werden. Mit einem Fokussierhandstück und entsprechend hoher Leistungsdichte sind Resektionen an parenchymatösen Organen bei gleichzeitig guter Hämostase möglich.

### **Physikalische Grundlagen für Laser in der Medizin**

Um die Notwendigkeit der Gerätevielfalt zu verstehen, seien einige physikalische Grundlagen erwähnt.

LASER ist ein Akronym, das sich zusammensetzt aus **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**. Der Prozeß der induzierten Emission ist die Grundlage der Laserverstärkung. Um diesen Prozeß – **Besetzungsinversion** – nutzen zu können, müssen z.B. in einem Ensemble von Atomen (Ionen, Molekülen, Festkörper) Elektronen vorher von einem tieferen Energieniveau auf ein höheres angehoben worden sein. Die Zahl der Atome, bei denen das höhere, obere Laserniveau besetzt ist, muß also immer größer gehalten werden als die Besetzungszahl des niedrigen, unteren Laserniveaus. Als **Laserm Medien** können alle Stoffe verwendet werden, bei denen eine Besetzungsinversion erzeugt werden kann, z.B. freie Atome, Ionen, Moleküle, Molekül-

\* G.J. Müller, B.J. Schaldach, H.-P. Berlien, Laser-Medizin-Zentrum GmbH, Berlin, Krahmerstraße 6–10, 1000 Berlin 45

ionen in Gasen oder Dämpfen; Farbstoffmoleküle in Flüssigkeiten gelöst; Atome und Ionen in Festkörpern eingebaut; dotierte Halbleiter und freie Elektronen. Um eine Besetzungsinversion zu erzeugen, muß dem Lasermedium Energie in geeigneter Form zugeführt werden. Der jeweilige **Anregungsmechanismus** ist sehr speziell für den jeweiligen Lasertyp. Die wesentlichen Verfahren sind das optische Pumpen und die elektrische Gasentladung. Bei den Halbleiterlasern erfolgt die Anregung direkt durch elektrischen Strom. Auch chemische Reaktionen können zum Anregen genutzt werden.

In der Unterscheidung zur thermischen Lichtwelle sind es insbesondere drei Eigenschaften des Laserlichts, die für die medizinische Anwendung von Bedeutung sind. 1. **Kohärenz**: die Strahlung dieser Lichtquelle hat eine bestimmte räumliche und zeitliche Zuordnung (Phasenbeziehung); 2. **Kollimation**: die Strahlung des Lasers ist sehr gut gebündelt (geringe Divergenz); 3. **Monochromasie**: ein schmales Spektralband von hoher Intensität wird emittiert.

Diese drei Eigenschaften machen die gute Fokussierbarkeit zur Erreichung hoher Energiedichten und damit auch das exakte Arbeiten mit einem Strahl kleinster Querschnittsfläche möglich.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen Brennweite einer Linse, Arbeitsabstand und Energiedichte (Energie pro Fläche) im Gewebe. Vergrößert man den Arbeitsabstand über den Brennweitenwert der Linse, in dem der Fokus liegt, hinaus, so kommen in diesem defokussierten Bereich geringere Energiedichten am Gewebe zur Einwirkung. Ist der Arbeitsabstand exakt die Brennweite der Linse, werden hohe Energiedichten auf kleiner Fläche erreicht. Bei gleicher Brennweite, aber einer Vergrößerung des Arbeitsabstands erhält man geringere Energiedichten auf größerer Fläche.

Neben den physikalischen Grundeigenschaften Monochromasie, Kohärenz und Kollimation des Laserlichts werden viele weitere Eigenschaften in der Medizin genutzt. Wichtig für die Diagnostik mit Laserlicht sind das Absorptionsverhalten von Materie, die Fluoreszenz und das Streuverhalten. Diese Eigenschaften werden photometrisch und spektroskopisch ausgewertet.

In der Medizin werden bei unterschiedlichen Operationen spezielle Instrumente verwendet, für verschiedene klinische Anwendungsgebiete gibt es eine Vielzahl von medizinischen Lasergeräten. Diese unterscheiden sich einerseits in ihrer Emissionswellenlänge, die im Bereich des UV mit einer Wellenlänge von  $0,2\ \mu\text{m}$  beginnt und bis in den infraroten Bereich von etwa  $10\ \mu\text{m}$  Wellenlänge reicht, und andererseits in ihrer technisch-physikalischen Ausgestaltung, was die konstruktive Anordnung und das Zeitverhalten des Laserstrahls betrifft.

### Biophysikalische Wirkungen am Gewebe

In der Therapie werden die Wirkmechanismen der Strahlung mit den verschiedenen Gewebearten im wesentlichen durch zwei Parameter bestimmt: Zum einen die Einwirkzeit der Strahlen auf das Gewebe, zum anderen die effektiv zur Wirkung gelangende Leistungsdichte, bei der die gewebespezifische Absorption berücksichtigt ist.

### Klassen der Wirkprinzipien

#### Photochemische Effekte

#### Wirkprinzip

Photoinduktion

Biostimulation

Photoaktivierung von Drogen

POD

Photobestrahlung

Photochemotherapie

Photodynamische Therapie (PDT)

Black Light Therapy (PUVA)

Photoresonanz

#### Photothermal Effekt

Photohyperthermie

37° – 43° C

reversible Schädigung von normalem Gewebe

45° – 60° C

Ödemisierung der Zellen, Gewebeschweißen;

Eiweißfällung

Photothermolyse

Thermisch-Dynamische Effekte

mikroskopisch geringe Überhitzung

Photokoagulation

60° – 100° C

Koagulation, Nekrose

Photokarbonisation

100° – 300° C

austrocknen, Vaporisation von Wasser,

Karbonisation

Photovaporisation

&gt; 300° C

Pyrolyse, Vaporisation von Gewebestücken

#### Photoionisation oder

#### Photospaltung

Photoablation

schnelle thermische Explosion (Angioplastie)

Photodisruption

optischer Durchbruch, mechanische

Photofragmentation

Schockwelle (Lithotripsie)

In den Jahren von 1965 bis 1980 kam es aufgrund phänomenologischer Untersuchungen über die Wirkprinzipien zur Entdeckung immer neuer Anwendungsfelder. Mitte der 70er Jahre begann gezielt die Erforschung der Wirkmechanismen.

Für medizinische Behandlungen können **drei** Hauptklassen von Wirkprinzipien unterschieden werden:

**Erstens:** Die Klasse der photochemischen Wirkungen. Sie beinhaltet die Photoinduktion oder Photoaktivierung, gewöhnlich Biostimulation genannt, und die Photobestrahlung, wobei die Photodynamische Therapie oder Photosensibilisierung mit eingeschlossen ist. Hier wird die Laserenergie dazu benutzt, durch Absorption in entweder körpereigenen oder körperfremden Farbstoffen oder chromophoren Gruppen an Bio-

molekülen photochemische Reaktionen auszulösen. Vier grundsätzliche Arten von Reaktionen des photochemischen Mechanismus können unterschieden werden:

Die photoinduzierte Isomerisation – in der Bilirubin Degeneration

Die photoinduzierte Ladungs Produktion – im visuellen Prozeß

Die photoinduzierte Synthese – in der Photosynthese von Pflanzen

Die photoinduzierte Dissoziation – in der Photodynamischen Therapie (PDT)

**Zweitens:** Die Klasse der thermischen Effekte. Hier wird die auftreffende optische Strahlung in Wärme umgewandelt und verursacht Koagulation, Vaporisation oder Karbonisation, abhängig von der Temperatur. Koagulation des Gewebes wird bei einer Temperatur von 60° bis 80 °C erreicht. In diesem Fall wird das Gewebe abgetötet, aber als Gewebeverband erhalten. Das Gewebe wird dann später vom Körper abgebaut und durch einsprossendes neues Gewebe, ersetzt. Bei der Karbonisation im Temperaturbereich von 100 °C und 300 °C erfolgt eine Austrocknung von Gewebe, Vaporisation von Wasser. Die Vaporisation, das Verdampfen von Gewebe wird bei Temperaturen weit oberhalb von 300 °C erreicht.

**Drittens:** Die Klasse der ionisierenden Effekte. Im Prinzip sind es nicht thermische Wirkungen wie Photoablation und Photodisruption, welche zusammengefaßt als Photodecomposition (Photospaltung) von Material bezeichnet werden. Diese dritte Klasse von Wirkungen läßt sich am ehesten unter dem Begriff nicht-linearer Wirkungen zusammenfassen, da sich bei hohen Intensitäten die Effekte nicht mehr allein durch die lineare Absorption von Photonen beschreiben lassen. Mit gepulsten Lasern können Lichtintensitäten im Bereich von Megawatt bis Terawatt ( $10^6$ – $10^{12}$  W) im Nanosekundenbereich erzeugt werden. Bestrahlt man Gewebe mit gepulster UV-Laserstrahlung, so wird diese in einer sehr dünnen Oberflächenschicht absorbiert. Diese Gewebeschicht nimmt dabei so viel Energie auf, daß sie sich explosionsartig vom Untergrund löst. Man nennt diesen Bereich Photoablation, da es hier möglich ist, Materialfragmente rein lichtinduziert von der Oberfläche abzulösen, ohne daß es primär zu einer Erwärmung des entsprechenden Areals kommt.

### Etablierte Lasersysteme in der Medizin

Wegen seiner hohen Selektivität für körpereigene Chromophore gewinnt neben dem Argon Laser der Argon-Ionen gepumpte Farbstofflaser zunehmend an Bedeutung. Ein weiter Frequenzbereich vom Blaugrünen bis hin zum Roten (488, 514, 570–640 nm) läßt sich realisieren.

Der Nd:YAG Laser (1064 nm) ist ein typischer Volumenkoagulator und wird überall dort eingesetzt, wo gefäßreiche Strukturen vorliegen. Seine Übertragbarkeit durch Glasfasern gestattet eine universelle Anwendung. Über flexible oder starre Endoskope kann er zur Koagulation von Blutungen, Fehlbildungen oder Tumoren benutzt werden; bei höherer Leistung auch zur Rekanalisation von Tumorstenosen. Mit einem Fokussierhandstück und entsprechend hoher Leistungsdichte sind Resektionen an parenchymatösen Organen, wie Leber, Milz, Pankreas und Niere, bei gleichzeitig guter Hämostase möglich.

Gepulste Nd:YAG Lasersysteme haben sich in der Ophthalmologie zur Behandlung von Nachstarmembranen, aber auch in der Glaukomchirurgie einen Platz erwerben können.

Wird das Gewebe durch Verdampfen entfernt, ist dies der Effekt des Laserschneidens. Der CO<sub>2</sub> Laser (10600 nm) stellt wegen seiner hohen Wasserabsorption und damit geringen Eindringtiefe in das Gewebe ein sehr exaktes Schneidinstrument dar. Er findet deshalb überall dort Verwendung, wo mikrochirurgisches Arbeiten bzw. flächenhaftes Abtragen erforderlich ist. Sein Nachteil ist jedoch die zur Zeit fehlende Transmission der Strahlung über Fasern. Im mittleren Infrarot (9,6 – 10,6 µm) wird die Lichtenergie im Wasser absorbiert. Verglichen mit der Absorption der Laser im Sichtbaren hat man es hier mit einer um den Faktor 10 – 100 effektiveren Ankopplung zu tun, so daß deshalb die Eindringtiefe sehr gering ist, und es bereits bei geringeren Leistungsdichten zu einer Verdampfung des biologischen Materials kommt. Damit läßt sich Gewebe abtragen oder schneiden, ohne daß es zu einer wesentlichen thermischen Schädigung der Umgebung kommt.

### **Der berührungslose Einsatz**

Beim berührungslosen Einsatz von medizinischen Lasern wird die Laserstrahlung über Strahlführungssysteme an das Gewebe gebracht, ohne daß dabei das Gewebe berührt wird. Strahlführungssysteme, die für den berührungslosen Einsatz in Frage kommen, sind Spiegelgelenkarm und Quarz- bzw. Glasfasern. Während man mit Spiegelgelenkarmen weitgehend alle Laserwellenlängen übertragen kann, ist eine verlustarme Übertragung über Quarzfasern nur ca. von 200 nm bis zu 2000 nm möglich. An Lichtleitern, die auch für die Übertragung längerwelliger IR-Strahlung geeignet sind, wird derzeit gearbeitet. Gegenüber Spiegelgelenkarmen sind Lichtleiter flexibler.

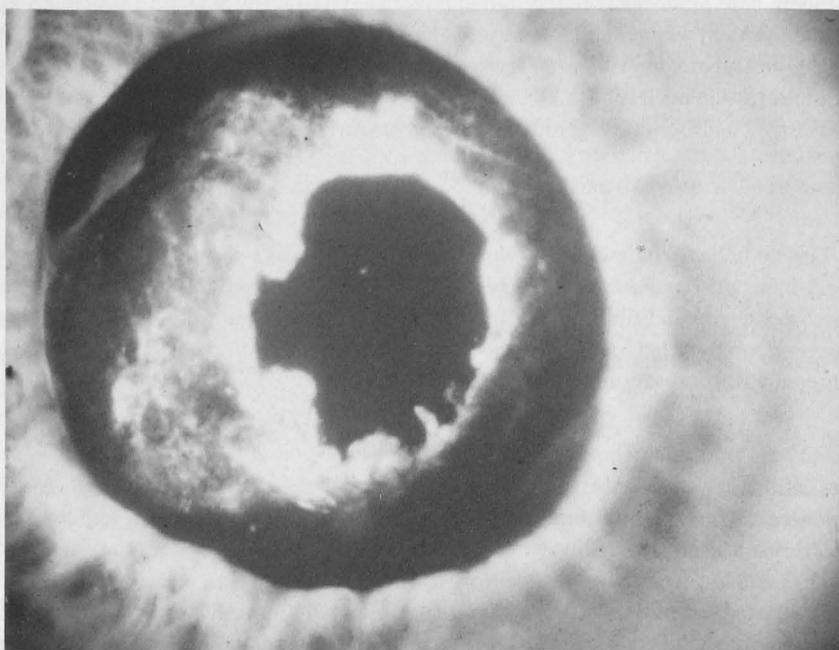
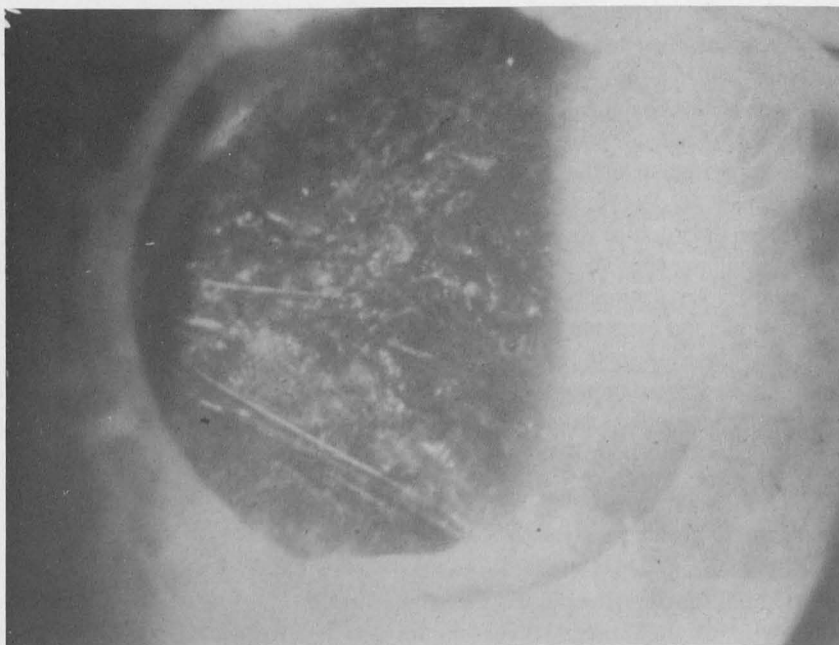
### **Die Kontaktmethode**

Das zu behandelnde Gewebe wird in direktem Kontakt mit dem Faserende (bare fiber) bzw. auf das Faserende aufgesetzte hot tip oder Saphirspitzen gebracht. Der Durchmesser handelsüblicher Lichtleiter (0,05–1 mm) erlaubt den endoskopischen Einsatz. Durch die heiße Faserspitze vaporisiert das Gewebe und eine scharf begrenzte homogene Karbonisationszone bleibt.

### **Anwendungsfelder**

Unabhängig von den Arten der Lasergewebewirkungen und übergreifend auf verschiedene Fachgebiete lassen sich grundsätzlich Anwendungsprinzipien in der Lasermedizin darstellen.

Dies ist zum einen die Lokalisation des Lasereinsatzes, zum anderen der Stellenwert, den der Laser im jeweiligen Therapiekonzept einnimmt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen dem Einsatz des Lasers als ein Hilfsinstrument im Rahmen einer größeren Operation oder als eigentliches Therapieverfahren bei endoskopischen Eingriffen,



*Wiedereröffnung der Nachstarmembran nach Kunstlinsenimplantation*

Kathetereingriffen oder sonstigen Laserbestrahlungen. Ein anderes Einteilungsprinzip ist die Körperregion. So finden sich Eingriffe an der Körperoberfläche, endoskopische Eingriffe oder der Lasereinsatz im Rahmen der offenen Chirurgie in vielen Fachgebieten.

Aufgrund der optischen Transparenz des Auges ist der Laser ebenfalls für Anwendungen in der Ophthalmologie prädestiniert. Der Glaskörper ist für ein weites Wellenlängenspektrum durchgängig, so daß durch die Linse direkt auf den Augenhintergrund eingesehen werden kann. Die erste Anwendung hier erfolgte beim Anschweißen von Netzhautablösungen. In der Augenheilkunde hatte sich der Laser deshalb als erstes einen Platz in der Routinetherapie erworben. Ein Beispiel für die Nutzung des Effekts des optischen Durchbruchs ist die Behandlung von Nachstarmembrantrübungen.

Da die Laserstrahlung an den zu bestrahlenden Ort gebracht werden muß, beschränkten sich die ersten Anwendungsgebiete und Indikationen für den Einsatz des Lasers zunächst auf oberflächliche Erkrankungen. In der Dermatologie wird der Laser zum Beispiel zur Therapie von Hyperpigmentationen, atypischen Behaarungen, Gefäßanomalien der Haut wie Naevus Flammeus oder Hämangiomen eingesetzt, und auch benigne und maligne Hauttumoren können mit dem Laser behandelt werden.

<b>Medizinisches Anwendungsfeld</b>	<b>Laser</b>	<b>Modus</b>
Chirurgie, Urologie, Dermatologie, HNO, Ophthalmologie	Ar <sup>+</sup> , (Kr <sup>+</sup> )	cw
Plastische Chirurgie, Dermatologie, Onkologie, Ophthalmologie	Argon-Dye	cw
Chirurgie, Urologie, Gynäkologie, Neurochirurgie, Gastroenterologie, Pulmologie	Nd:YAG	cw
Ophthalmologie, Lithotripsie	Nd:YAG	gepulst
Chirurgie, Urologie, Dermatologie, HNO, Gynäkologie, Neurochirurgie, Maxillo Facial Chirurgie	CO <sub>2</sub>	cw
Dermatologie, Urologie, Angiologie	Dye-Laser	gepulst
Angiologie, Ophthalmologie	Excimer	gepulst

Die Vorteile des Lasers in den chirurgischen Disziplinen lassen sich unter fünf Gesichtspunkten zusammenfassen.

- Blutstillung
- Präzises Arbeiten
- Verringerung der Instrumentenzahl im Operationsfeld
- Berührungsfreie Gewebeabtragung – Asepsis
- Minimale Traumatisierung des umliegenden Gewebes durch Kräftefreiheit





*Entfernung von Tätowierungen mit dem CO<sub>2</sub> Laser, Dr. Seipp, Darmstadt*

### Körperoberflächen

Eines der ersten Gebiete der medizinischen Laseranwendung war die Körperoberfläche. 1963 wurde er durch Goldmann erstmalig in der Dermatologie eingesetzt. Die Indikationen können in zwei Hauptaufgaben unterteilt werden:

- das Abtragen oder Koagulieren von Haut- und Hautanhangsgebilden und
- die Therapie von intrakutanen Gefäßveränderungen und Mißbildungen

Hauttumore, wie Basaliome, Spinaliome und Melanome, werden heute vorzugsweise mit dem Nd:YAG Laser koaguliert oder alternativ mit dem CO<sub>2</sub> Laser abgetragen.

Mit dem Argon- oder Argon-Dye Laser werden Pigmentanomalien behandelt, es kann hier auch der Nd:YAG Laser zum Einsatz kommen.

Zum Entfernen von viral-induzierten Tumoren (Kondylomata, Mollusken, Verrucae) werden fast gleichberechtigt der Argon, Nd:YAG und CO<sub>2</sub> Laser eingesetzt. Der CO<sub>2</sub> Laser führt wegen seiner geringen Eindringtiefe in das Gewebe zu einer Vaporisation der Strukturen, während Argon und Nd:YAG Laser mit ihren größeren Eindringtiefen zu einer Koagulation des Gewebes führen, welches später abgestoßen wird. Bei der Behandlung von Epitheldysplasien (Leukoplakien, Morbus Bowen) wird hauptsächlich der CO<sub>2</sub> Laser eingesetzt. Er führt zu einer sofortigen Evaporisation der Haut. Zur Therapie von trophischen Ulzera und zur Reinigung am Wundgrund wird er gleichfalls eingesetzt. Beim Entfernen von Tätowierungen wird der Argon und der CO<sub>2</sub> Laser angewendet.

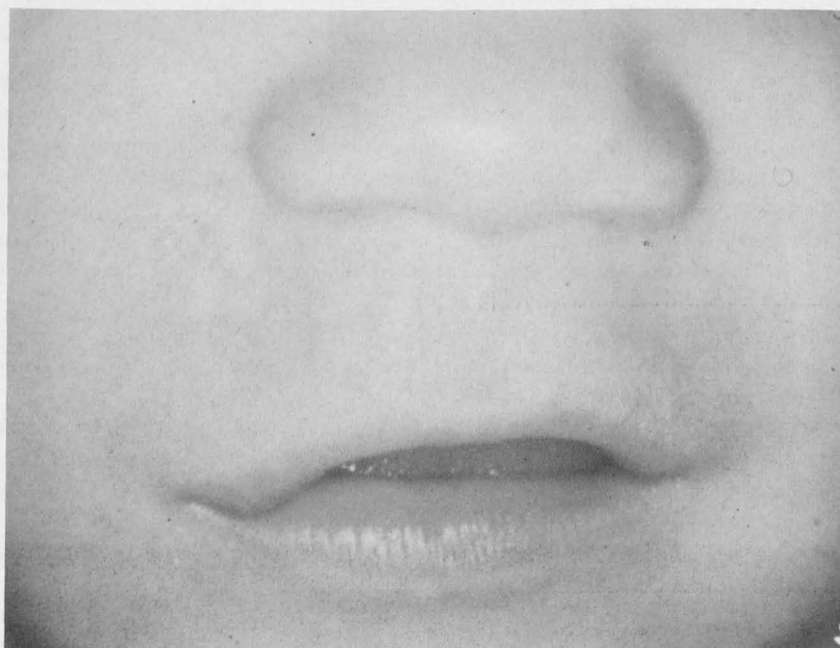
### Gefäßsystem

Bei der Therapie körperflächennaher Gefäßveränderungen – Spider naevi, Naevus flammeus und kutanen plano-tuberösen Hämangiomen – haben sich der Argon und der Nd:YAG Laser bewährt. Besonders der Argon Laser mit seiner geringen Eindringtiefe und der hohen Absorption seiner Strahlung an Hämoglobin kommt für die Therapie oberflächiger Gefäßveränderungen in Betracht. In den so behandelten Gefäßen wird eine thermisch dynamische Spätreaktion in Form einer Angiitis induziert, die zu einer Okklusion der Teleangiektasien führt. Die okkludierten Venen werden der natürlichen Resorption überlassen.

Hämangiome sind die häufigsten Mißbildungen im Kindesalter, ihre Behandlung ist umstritten. Ein Großteil der Hämangiome heilt bis zum 8. Lebensjahr spontan ab, weshalb ein Abwarten gerechtfertigt ist.

Bei ungünstiger Lokalisation, z.B. im Gesicht oder an funktionell wichtigen Strukturen, kann ein weiteres Wachstum zu erheblichen funktionellen Störungen bzw. Entstellungen führen. Daraus ergibt sich eine Therapieindikation schon im Säuglings- oder im frühen Kindesalter. Wegen seiner genügend großen Penetrationstiefe kommt hier der Nd:YAG Laser zum Einsatz, wobei die Haut mittels spezieller Eiswürfel gekühlt werden muß, um Hautverbrennungen zu vermeiden.

Eine weitere Applikationsform ist die perkutane intraluminale Bestrahlung voluminöser Kavernome mit der bare fiber. Mit Hilfe einer Kanüle wird die Faser intraluminal plziert. Bei einer Ausgangsleistung von 10–15 W und einer Expositionszeit von 1–5 s



*Hämangiom an der Oberlippe eines Kleinkindes vor und nach der Argon Laser Behandlung*



*Warzenbehandlung an Daumen vor und nach CO<sub>2</sub> Laser Behandlung, Dr. Seipp, Darmstadt*

kommt es intraluminal zu einer Thrombosierung des Blutes und einer Schädigung der Gefäßwand mit nachfolgender Obliteration. Während der Laserbestrahlung muß das Faserende frei gespült werden, da die Faser sonst zerstört wird. Auch hier kommt der Nd:YAG Laser zum Einsatz.

### **Endoskopie**

Mit der Einführung der Endoskopie vollzog sich ein grundlegender Wandel in der operativen Medizin. Lassen sich doch durch diese Technik konventionelle operative Eingriffe erleichtern. Durch Vermeidung der Eröffnung einer Leibeshöhle sinkt das Infektrisiko, und die Gefahr von postoperativen Verwachsungen wird deutlich geringer. Für den Patienten ist die Operationsbelastung erheblich reduziert.

Laserlicht, das über Lichtwellenleiter an die Stelle der Applikation geleitet wird, kann hier zu einer weiteren Verkleinerung und damit zu einer weiteren Flexibilisierung des endoskopischen Operierens führen. Hier sind in den letzten Jahren schon entsprechende Entwicklungen begonnen worden, jedoch erweist sich für viele Indikationen das Instrumentarium als noch zu groß bzw. unhandlich. Durch Weiterentwicklung dieser Instrumente, insbesondere Verfeinerung der flexiblen Endoskope, werden sich eine Reihe von neuen Indikationen für den Lasereinsatz ergeben, die bislang konventionell operiert werden mußten oder keiner Therapie zugänglich waren.

Die Faser wird über den Arbeitskanal in das Endoskop eingeführt und unter Sicht am gewünschten Wirkort plaziert.

Mit Hilfe dieser Technik können maligne Stenosen der Speiseröhre und des Magen-Darm-Trakts eröffnet werden. Dabei gelingt die Passageherstellung in 75–90% der Fälle. Komplikationen treten in 4–8% auf, bei 1–2% enden diese tödlich.

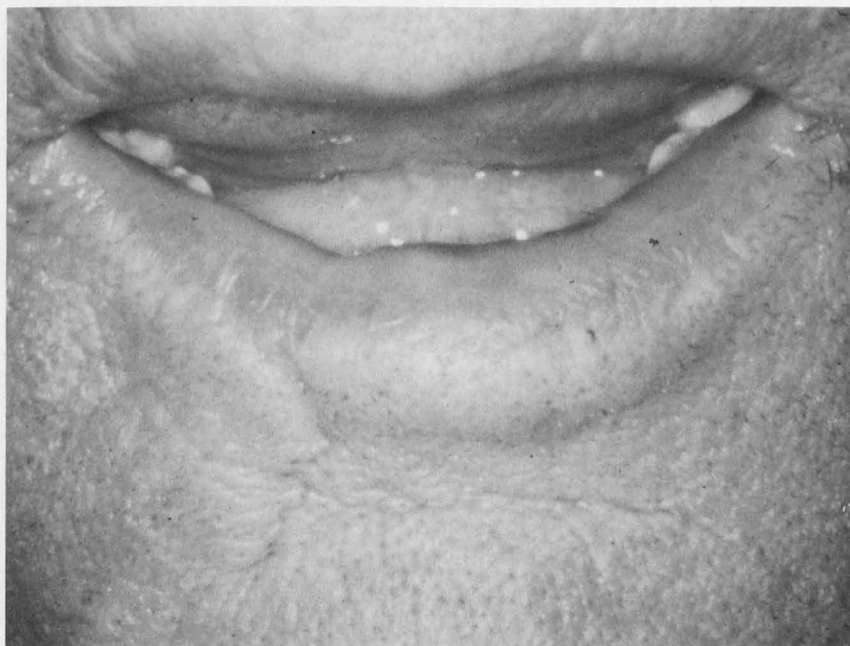
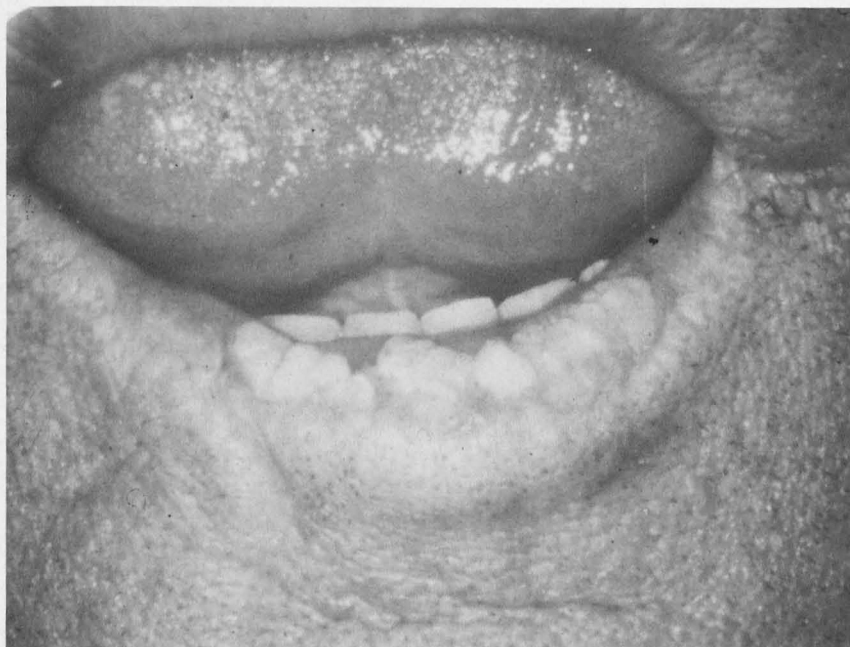
Die zeitliche Wirkung der Laserbehandlung ist jedoch begrenzt. Nach 3 Wochen bis 3 Monaten treten z.B. beim Ösophagus Karzinom Rezidivstenosen auf, die eine erneute Behandlung erforderlich machen.

Eine weitere Methode ist die endoskopische Laserlithotripsie von Gallensteinen. Seit der Einführung der endoskopischen Papillotomie durch CLASSEN und DEM-LING 1974 entwickelte sich dieses Verfahren sprunghaft und stellt heute bei isolierten Choledochussteinen die Therapie der Wahl dar. Doch trotz Weiterentwicklung des technischen Zubehörs – hierzu zählt die mechanische, elektrohydraulische und ultraschall-gesteuerte Lithotripsie – verbleibt eine endoskopisch-therapeutische Lücke.

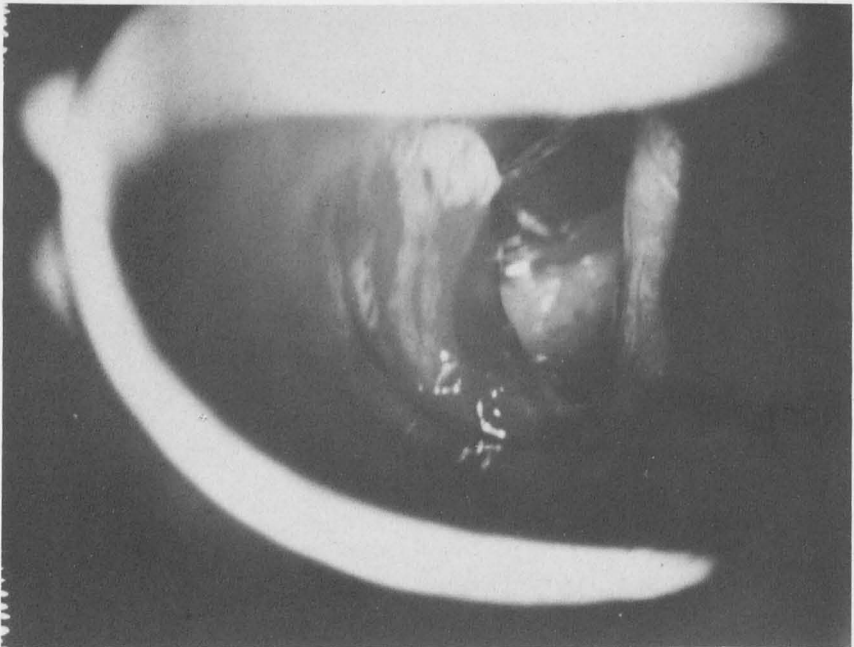
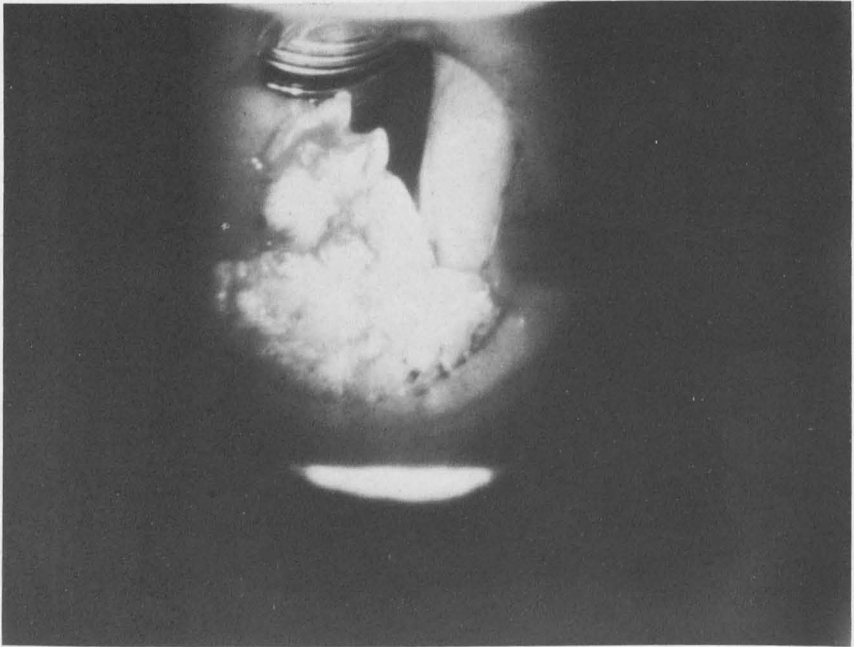
Mit Hilfe eines Nd:YAG Lasers werden Gallensteinkonglomerate fragmentiert und anschließend endoskopisch entfernt. Zur Anwendung kommt diese Technik bei Patienten, die schwerwiegende Begleiterkrankungen aufweisen, ihnen kann so ein größerer Eingriff in Allgemeinnarkose erspart werden. Komplikationen treten dabei nicht auf.

Bei der Behandlung angeborener narbiger, nicht bösartiger Veränderungen wird mit dem Nd:YAG in der Kontaktmethode mit einer bare fiber gearbeitet.

Der CO<sub>2</sub> Laser kann zur Zeit nur über einen Spiegelgelenkarm zum Ort geführt werden. Sein Einsatz ist nur mit starren Endoskopen möglich.



*Leukoplakie der Unterlippe vor und nach CO<sub>2</sub> Laser Behandlung*



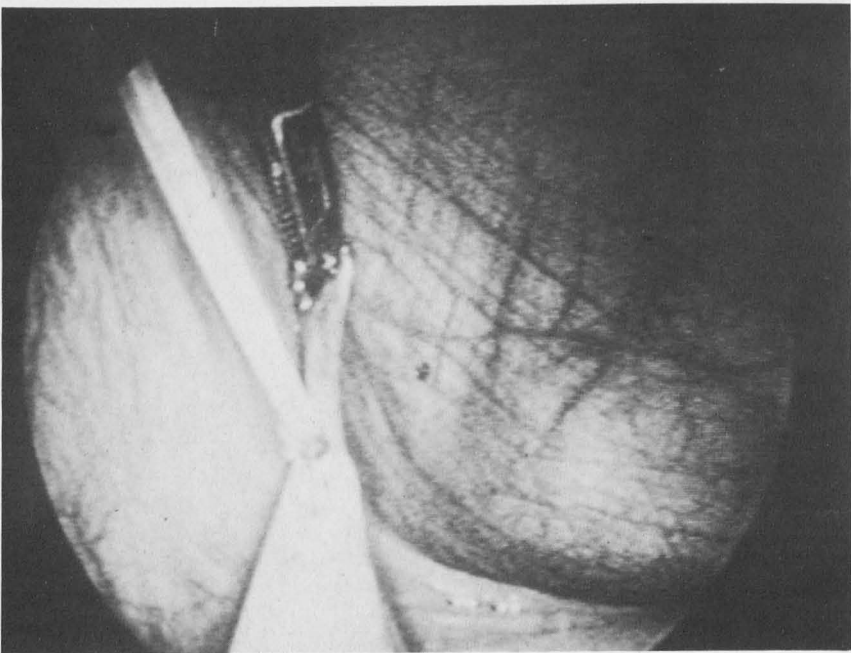
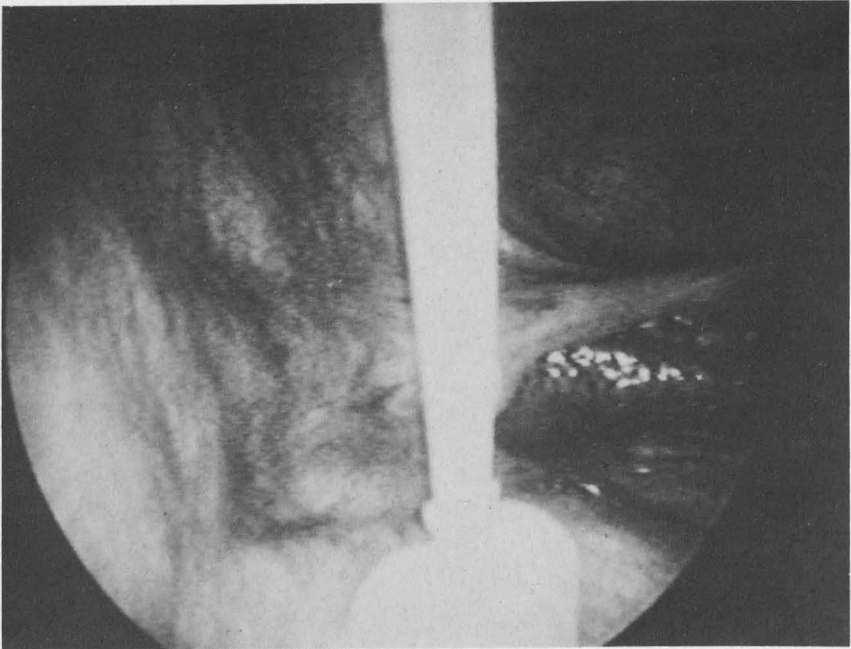
*Stimmlippentumor vor und unmittelbar postoperativ nach CO<sub>2</sub> Laser Behandlung*





*Lebertumor vor und unmittelbar nach Leberlappenresektion mit dem Nd:YAG Laser*





*Verschuß einer Fistel bei einem Neugeborenen und Auftrennung des Verwachsungsstranges  
mit der bare fiber Technik (Nd:YAG Laser)*

## Offene Chirurgie

Chirurgische Eingriffe sind auch bei exakter präoperativer Planung nicht frei von intra- oder postoperativen Komplikationen. Sorgen bereiten Blutungen während oder nach einem Eingriff, Gallelecks bzw. -fisteln nach Leberresektion, Komplikationen nach Operationen am Pankreas, der Milz, Niere, Mamma und insbesondere im Gehirn. In der Kinderchirurgie kann ein Blutverlust von 100 ml bereits zu einem lebensbedrohlichen Schock führen, der zur Transfusion zwingt.

In der Schädelhöhle setzen Neurochirurgen den Laser zur Tumoresektion, Angiomverödung, bei stereotaktischen Operationen sowie zur Plexuskoagulation ein. Die Laser, die hier zur Anwendung kommen, sind der Argon, Nd:YAG und CO<sub>2</sub> Laser.

In der offenen Thoraxchirurgie wird der Laser zur Lungenparenchymresektion eingesetzt, zur Behandlung von Fisteln und bei Dekortikationen. Für offene Operationen in der Bauchhöhle hat sich der Nd:YAG Laser zur Resektion parenchymatöser Organe etabliert. Venen mit einem Durchmesser von 3–5 mm und Arterien bis zu 1,5 mm werden primär bei der Durchtrennung verschlossen. Größere Gefäße müssen vorher ligiert werden.

In der gynäkologischen offenen Abdominalchirurgie etablieren sich die Laser. Bei einigen operativen Refertilisierungsverfahren, so der intrapelvinen Adhäsiolyse, der Tubenimplantation und bei Myomextirpationen kommt der CO<sub>2</sub> Laser zur Anwendung.

Bei Mammaamputationen und subkutanen Mastektomie werden CO<sub>2</sub> und Nd:YAG Laser eingesetzt.

Die weitere Indikation ist bei mechanischen irritierenden Fehl- oder Neubildungen gegeben, z.B. Interdigitalneurom, Ganglionzysten, Hackenneurom, dem knöchernen Hackensporn, Knochen- und Hüftgelenkoperationen bei Hämophiliekranken und beim Tarsaltunnelsyndrom. Durch das Einsetzen des CO<sub>2</sub> Lasers werden die mechanisch irritierenden Strukturen vollständig evaporisiert und deren Neubildung verhindert.

Der Einsatz von synthetischen Saphiren in der Kontaktmethode führt zu einem sehr schmalen Koagulationssaum, so daß die hämostatische Wirkung teilweise hinter denen der HF- oder IR-Andruckkoagulatoren zurück steht. Der Einsatz der Kontaktskalpelle zur Organdurchtrennung ist deshalb nicht sinnvoll. Andererseits sind sie gerade wegen ihrer schmalen Koagulationszone eine hilfreiche Erweiterung bei der Präparation von Strukturen und können so teilweise das Einsatzgebiet des Ultraschalldissektors übernehmen mit dem Vorteil, daß kapilläre Blutungen bei der Präparation gestillt werden. Zubehör, das einen einfachen Wechsel von der Kontaktmethode zur Präparation zur Non-Kontaktmethode zur Organ- bzw. Tumoresektion erlaubt, stellt eine wesentliche Operationserleichterung dar.

## Zukunftsperspektiven

So hat der Laser in den letzten Jahren in einer Reihe von medizinischen Fachgebieten seinen festen Platz erworben. Es bleibt jedoch festzuhalten, daß es für keines dieser

Fachgebiete einen bestimmten Laser gibt, sondern, daß entsprechend den gewünschten Problemlösungen, die Qualitäten jeweils unterschiedlicher Lasersysteme herangezogen werden müssen.

Vor dem Hintergrund der hier beispielhaft angesprochenen Anwendungen des Lasers in der Medizin wird sich auch die künftige Entwicklung abspielen. Dabei werden folgende Faktoren maßgeblich sein:

- Das noch bessere Verständnis der Wirkmechanismen
- Die Verfügbarkeit technisch ausgereifter Laserkonstruktionen und entsprechender Systemkonzepte, die dann auch zu einer Kostensenkung und damit breiterer Akzeptanz des Lasers führen
- Die Verfügbarkeit flexibler, optischer Transmissionssysteme für die entsprechende Strahlung, insbesondere von geeigneten optischen Fasern sowohl für den UV- als auch für den Infrarotbereich
- Das geeignete Zubehör
- Kombinationstherapien, bei denen der Laser nur einen Teil des Therapiekonzepts darstellt – palliative Tumorbehandlung mittels Afterloading-Verfahren, Anwendung von Photosensitisern zur lokalen Veränderung des Absorptionsverhaltens im biologischen Gewebe

Konkret wird der Laser zur Lösung bestehender Probleme beitragen:

Im cardiovasculären Bereich der Gefäßrekanalisation, d.h. die Wiedereröffnung von subtotalen oder totalen Stenosen im arteriellen Gefäßsystem.

Weiter wird es möglich sein, durch Laserstrahlung Steine zu zertrümmern bzw. aufzulösen, sowohl im Bereich des Nierenbeckens, der Blase und den harnableitenden Wegen, als auch im Bereich der Gallenwege.

Aus technischer Sicht geht der Trend in immer stärkerem Maße zur Nutzung von Festkörperlasern und Halbleiterlasern, die zu technisch einfacheren Systemen führen. Die Entwicklung entsprechenden Zubehörs wird im Bereich der endoskopischen Laserchirurgie immer neue und erweiterte Anwendungen ermöglichen.

In jedem Fall muß sich aber die Lasermedizin mit ihren Möglichkeiten am Stand etablierter oder alternativer technischer Verfahren messen, um so auch gezielt zu einer Verbesserung des Kosten-/Nutzenverhältnisses in der Medizin beizutragen.